



Modul fotovoltaik – Bagian 2: Pengukuran karakteristik arus tegangan sel/modul fotovoltaik



DAFTAR ISI

	Halaman
1. RUANG LINGKUP	1
2. DEFINISI	1
3. SIMBOL/LAMBANG	1
4. SINGKATAN	1
5. ISTILAH	2
6. CARA PENGUJIAN	3
6.1 U m u m	3
6.2 Peralatan	4
6.3 Prosedur Pengukuran	4
6.4 Laporan Pengujian	6
Lampiran	
1. Gambar 1. Rangkaian Uji	
2. Gambar 2a Rangkaian Pengukuran Tegangan Gambar 2b Ekstrapolasi Arus Hubung Singkat	
3. Tabel 1. Referensi Distribusi Iradians spektral Sinar Surya.	

MODUL FOTOVOLTAIK

Bagian 2 : Pengukuran Karakteristik Arus Tegangan Sel/Modul Fotovoltaik

1. RUANG LINGKUP

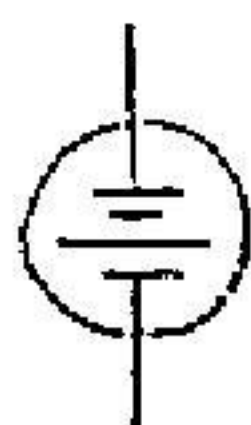
Standar ini meliputi definisi, simbol/lambang, singkatan, istilah, cara pengujian, pengukuran karakteristik Arus-Tegangan sel/modul fotovoltaik.

2. DEFINISI

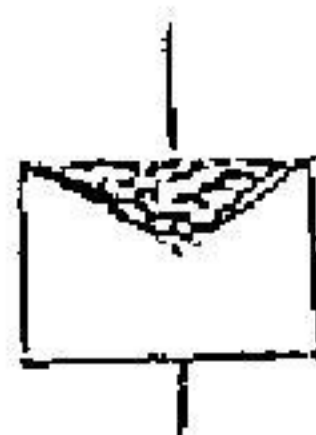
Pengukuran karakteristik Arus-Tegangan sel/modul fotovoltaik adalah suatu metoda pengukuran untuk mendapatkan karakteristik/unjuk kerja Arus-Tegangan modul fotovoltaik dengan menggunakan simulator surya atau sinar surya.

3. SIMBOL/LAMBANG

3.1 Sel Fotovoltaik



3.2 Modul Fotovoltaik



4. SINGKATAN

I-V	: Arus-Tegangan
N O C T	: "Nominal Operating Cell Temperature" (temperatur sel pada operasi nominal)
A M	: "Air mass"
K O S	: Kondisi Operasi Standar
P max	: Daya puncak nominal
V max	: Tegangan pada daya puncak nominal
I max	: Arus pada daya puncak nominal
Voc	: Tegangan sirkit terbuka
Isc	: Arus hubung singkat

5. ISTILAH

- 5.1 Sel Fotovoltaik adalah elemen yang mengubah energi surya menjadi energi listrik.
- 5.2 Modul Fotovoltaik adalah unit rakitan yang lengkap, terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik, yang dirangkai secara seri dan atau paralel.
- 5.3 Susunan modul fotovoltaik adalah suatu gabungan mekanis yang terdiri dari sejumlah modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan atau paralel dan dipasang pada suatu kerangka penunjang.
- 5.4 Penghubung adalah penghantar listrik (konduktor) yang digunakan untuk menghubungkan antar sel fotovoltaik dan sel fotovoltaik dengan terminal pada sebuah modul.
- 5.5 Pelindung adalah bagian yang melindungi rangkaian sel fotovoltaik agar tahan terhadap pengaruh lingkungan, kondisi cuaca, debu dan gangguan mekanis lainnya.
- 5.6 Irradians = intensitas radiasi ("irradiance") adalah pancaran daya dalam bentuk gelombang elektro magnetik atau foton yang jatuh pada satuan luas permukaan.
- 5.7 Irradians langsung ("direct irradiance") adalah iradians secara langsung dari surya/lampu.
- 5.8 Irradians difusi ("diffuse irradiance") adalah iradians dari awan.
- 5.9 Irradians global ("global irradiance") adalah jumlah iradians langsung dan iradians difusi.
- 5.10 Irradians total adalah jumlah iradians langsung dan iradians difusi yang diterima pada sudut kemiringan tertentu.
- 5.11 Irradiasi ("irradiation") adalah pancaran energi dalam bentuk gelombang elektro magnetik atau foton yang diterima per satuan luas permukaan dalam waktu tertentu.
- 5.12 Irradiasi surya ("insolation" = incoming solar radiation = "incident solar radiation" = "solar irradiation") adalah pancaran energi sinar surya dalam bentuk gelombang elektro magnetik atau foton yang diterima per satuan luas permukaan dalam waktu tertentu.
- 5.13 Radiasi surya ("solar radiation") adalah energi sinar surya dalam bentuk gelombang elektro magnetik atau foton yang dipancarkan per satuan luas permukaan dalam waktu tertentu.
- 5.14 "Air mass" (AM) adalah perbandingan antara panjang lintasan melalui atmosfer yang dilalui oleh sinar surya di suatu tempat dengan panjang lintasan yang dilalui oleh sinar surya bila matahari berada tegak lurus di atasnya, bila tempat tersebut terletak pada muka laut.
- 5.15 Sinar Surya Puncak Nominal adalah iradians global sebesar 100 mW/cm^2 atau 1000 W/m^2 yang diperoleh pada kondisi Am 1,5.

- 5.16 Kondisi Operasi Standar (KOS) adalah kondisi dimana irradians 1000 W/m^2 , Am 1,5 dan temperatur sel $23 \pm 2^\circ\text{C}$.
- 5.17 Daya Puncak Nominal adalah daya listrik maksimum dari sel, modul, atau susunan modul fotovoltaik yang diukur pada Kondisi Operasi Standar.
- 5.18 Faktor Pengisian ("Fill Factor") adalah perbandingan antara daya puncak terhadap hasil perkalian antara arus hubung singkat dengan tegangan sirkit terbuka.

$$\text{Fill Factor} = \frac{\text{Daya Puncak}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

- 5.19 Efisiensi sel adalah perbandingan antara daya listrik maksimum yang dihasilkan sel terhadap daya sinar surya yang diterima pada permukaan sel.
- 5.20 Efisiensi Modul adalah perbandingan antara daya listrik maksimum yang dihasilkan modul terhadap daya sinar surya yang diterima permukaan modul.
- 5.21 Kurva I-V adalah grafik hubungan Arus-Tegangan sel/modul fotovoltaik.
- 5.22 Benda uji dalam hal ini adalah sel atau modul fotovoltaik yang linier.
- 5.23 Sel/modul referensi adalah sel/modul yang digunakan untuk mengukur irradians surya atau untuk menentukan irradians simulator sehingga sesuai dengan distribusi spektrum irradians surya referensi.
- 5.24 Spektrum referensi adalah spektrum irradians yang dihasilkan pada keadaan AM 1,5 dan irradians 1000 W/m^2 .

6. CARA PENGUJIAN

6.1 U m u m

1. Pengukuran irradians harus dilakukan dengan menggunakan sel/modul referensi yang telah dikalibrasi.
2. Sel/modul referensi pada prinsipnya harus mempunyai respons spektral yang sama seperti benda uji dan harus dipilih serta dikalibrasi. Referensi distribusi irradians spektral sinar surya dapat dilihat pada tabel I.
3. Temperatur dari sel/modul referensi dan benda uji harus diukur pada ketelitian dengan perbedaan temperatur $\pm 1^\circ\text{C}$, jika berbeda lebih dari 2°C , maka nilai kalibrasi harus disesuaikan dengan temperatur pengukuran.
4. Permukaan aktif dari benda uji harus sebidang dengan permukaan aktif dari sel/modul referensi dengan toleransi $\pm 5\%$. Penggunaan kolimator tidak diperbolehkan.
5. Rangkaian uji seperti pada Gambar 1.
6. Arus dan tegangan harus diukur menggunakan ujung sambungan bebas (independent leads) dari terminal benda uji dengan deviasi $\pm 0,5\%$.

7. Arus hubung singkat harus diukur pada tegangan nol dengan menggunakan beban variabel (dianjurkan elektronik), untuk mengimbangi jatuh tegangan pada resistants seri luar.
Alternatifnya, pengukuran arus hubung singkat ini dapat ditentukan dengan pengukuran jatuh tegangan pada resistor tepat 4 - terminal presisi (sesuai dengan Gambar 2a). Disyaratkan bahwa pada saat pengukuran tegangan tidak lebih tinggi 3% dari tegangan rangkaian terbuka dari alat yang diuji(sel/modul), dalam batas dimana hubungan antara arus dengan tegangan adalah linier. Kemudian titik-titik yang diperoleh diekstrapolasi ke tegangan nol (lihat Gambar 2b).
8. Volt meter harus mempunyai tahanan dalam paling kecil 20 K Ohm/V.
9. Semua peralatan yang telah dikalibrasi pada tingkat ketelitian yang diperlukan dalam setiap pengukuran harus mempunyai sertifikat.
10. Ketelitian dari prosedur koreksi untuk iradians dan temperatur harus diuji secara periodik dengan pengukuran unjuk kerja dari benda uji pada tingkat yang dipilih dan membandingkan hasilnya dengan data yang telah diekstrapolasi.

6.2 Peralatan

Peralatan terdiri dari :

- 6.2.1 Sel/modul referensi yang telah dikalibrasi.
- 6.2.2 Wadah sel atau modul yang temperaturnya dapat diatur.
- 6.2.3 Alat ukur temperatur sel/modul lengkap dengan pencatat.
- 6.2.4 Alat ukur Arus-Tegangan dari modul yang diuji, dan alat ukur arus dari sel/modul referensi.
- 6.2.5 Beban yang dapat diatur untuk membebani modul dari sirkit terbuka sampai sirkit hubung singkat. Beban tersebut dapat berupa serangkaian tahanan, catu daya arus searah, dan lain-lain.
- 6.2.6 Simulator Surya untuk pengukuran dalam ruangan.

6.3 Prosedur pengukuran.

Berdasarkan pemilihan sumber iradians ada 3 (tiga) prosedur utama yaitu :

1. Dalam ruangan dengan simulator surya tetap.
2. Dalam ruangan dengan simulator surya pulsa
3. Diluar ruangan dengan sinar surya.

Dalam semua prosedur, iradians yang jatuh diukur dengan sebuah sel/modul referensi yang telah dikalibrasi.

Data direkam pada Kondisi Operasi Standar (KOS). Jika hal ini tidak dapat dipenuhi agar dilakukan koreksi.

- 6.3.1 Dalam ruangan dengan simulator surya tetap.

6.3.1.1. Pemilihan simulator

Simulator harus memenuhi persyaratan dibawah ini :

- a. Spektra simulator sesuai dengan spektra sinar surya. Sinar lampu Xenon-Arc, Argon-Arc dan Mercuri Halida Arc yang di dop dapat dipakai sebagai simulator.
- b. Irradians total antara 800 W/m^2 dan 1.050 W/m^2 , yang diukur dengan sel/modul referensi.
- c. Keseragaman irradians pada bidang yang diuji harus konstans sampai $\pm 2\%$ selama pengukuran.
- d. Kestabilan temporal irradians harus konstans sampai $\pm 1\%$ selama pengukuran.
- e. Sudut sinar surya, sudut yang dibentuk oleh simulator pada seberang titik di bidang benda yang diuji harus lebih kecil dari 30° .

6.3.1.2. Cara Pengujian

- a. Hidupkan simulator dan stabilkan.
- b. Letakkan sel/modul referensi yang telah dikalibrasi pada bidang pengujian sehingga garis normal dari benda yang diuji harus sejajar dengan sinar datang dengan toleransi $\pm 5^\circ$.
- c. Atur irradians pada bidang pengujian sehingga sel/modul referensi menghasilkan arus hubung singkat yang telah dikalibrasi pada kondisi yang diinginkan.
- d. Pindahkan sel/modul referensi dan letakkan benda uji seperti yang dijelaskan pada butir b.

Catatan : Jika sinar surya cukup lebar dan seragam, maka benda uji dapat diletakkan di samping sel/modul referensi.

- e. Tanpa merubah simulator, catat karakteristik I-V dan temperatur dari benda uji. Jika dalam prakteknya sukar untuk mengontrol temperatur, tutup permukaan benda uji dari cahaya simulator sampai temperaturnya merata $\pm 2^\circ\text{C}$ dari temperatur sekeliling. Segera lakukan pengukuran setelah memindahkan penutup.
- f. Jika temperatur dari benda uji tidak sesuai dengan temperatur yang diinginkan, lakukan koreksi temperatur.

6.3.2 Dalam ruangan dengan simulator surya pulsa.

6.3.2.1 Pemilihan simulator.

Simulator harus memenuhi persyaratan sama seperti spesifikasi simulator surya tetap kecuali :

- a. Sumber sinar harus lampu Xenon-Arc.
- b. Kestabilan temporal irradians harus konstan sampai $\pm 10\%$ selama pengukuran, dengan persyaratan tambahan irradians diukur pada setiap titik pengukuran. Pada tipe simulator pulsa biasanya memberikan semua data untuk kurva I-V dalam beberapa milidetik. Dengan demikian harus menggunakan alat ukur yang mempunyai waktu respons yang cukup cepat pada interval waktu yang cukup pendek.

6.3.2.2 Cara Pengujian

- Letakkan benda uji sedekat mungkin dengan sel/modul referensi dan dalam bidang pengujian yang sama. Garis normal dari benda uji dan sel/modul referensi harus sejajar dengan sinar datang dengan toleransi $\pm 5^\circ$.
- Atur irradians pada bidang pengujian sehingga sel/modul referensi menghasilkan arus hubungan singkat yang telah dikalibrasi pada kondisi yang diinginkan.
- Catat karakteristik I-V dan temperatur benda uji. Selang waktu antara titik-titik data harus cukup lama untuk memastikan bahwa waktu respons benda uji dan kecepatan pengukuran data tidak menimbulkan kesalahan.
- Koreksi hasil pengukuran karakteristik arus-tegangan terhadap temperatur dan irradians yang diinginkan.

6.3.3 Diluar ruangan dengan sinar surya.

6.3.3.1 Kondisi sinar surya pada saat pengukuran

Pengukuran dengan sinar surya harus dikerjakan hanya jika irradians total tidak berfluktuasi lebih dari $\pm 1\%$ selama pengukuran.

Jika pengukuran dimaksudkan untuk referensi pada kondisi pengujian standar, irradians minimal harus 800 W/m^2 .

6.3.3.2 Pengujian

- Letakkan sel/modul referensi sedekat mungkin dan sebidang dengan benda uji. Keduanya harus tegak lurus terhadap radiasi sinar surya langsung dengan toleransi $\pm 10^\circ$.
- Catat karakteristik I-V dan temperatur dari benda uji bersamaan dengan mencatat arus hubung singkat dan temperatur sel/modul referensi. Jika dalam praktek sukar untuk mengontrol temperatur, tutup permukaan benda uji dari sinar surya dan angin sampai temperaturnya merata dengan temperatur udara sekeliling. Segera lakukan pengukuran setelah memindahkan penutup.
Catatan : Dalam banyak kasus, inersia termal benda uji atau alat akan membatasi temperatur dalam beberapa detik permulaan tidak melebihi 2°C dan temperatur ini akan tetap merata.
- Koreksi hasil pengukuran karakteristik I-V sesuai dengan kondisi irradians dan temperatur.

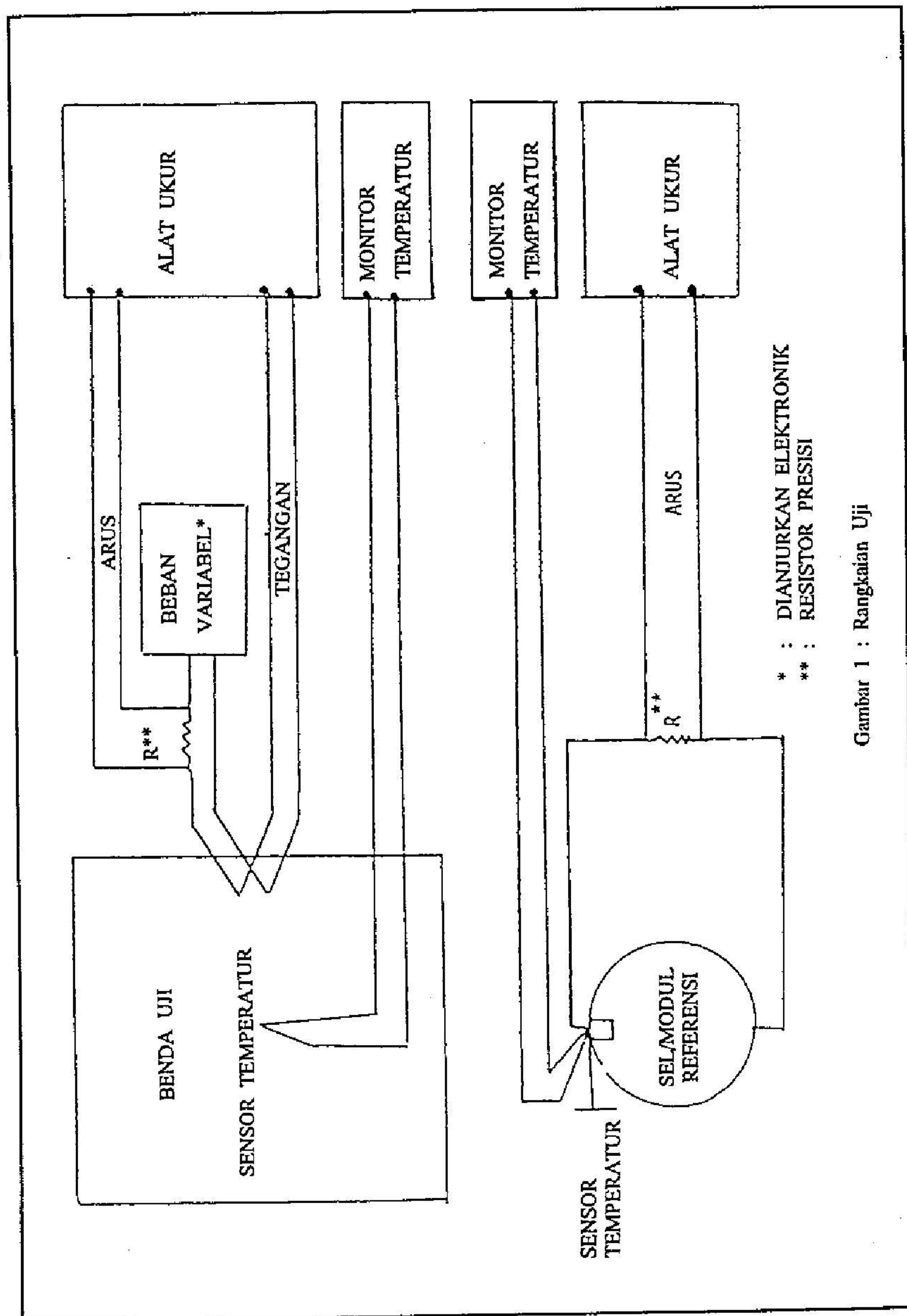
6.4 Laporan Pengujian

Apabila laporan pengujian diperlukan, maka harus memuat data sebagai berikut:

- Diskripsi dan identifikasi dari benda uji.
- Lingkungan pengujian (sinar surya langsung atau simulasi sinar surya; apabila menggunakan simulasi sinar surya, maka dilengkapi dengan penjelasan singkat dan jenis simulator).
- Tingkat irradians.

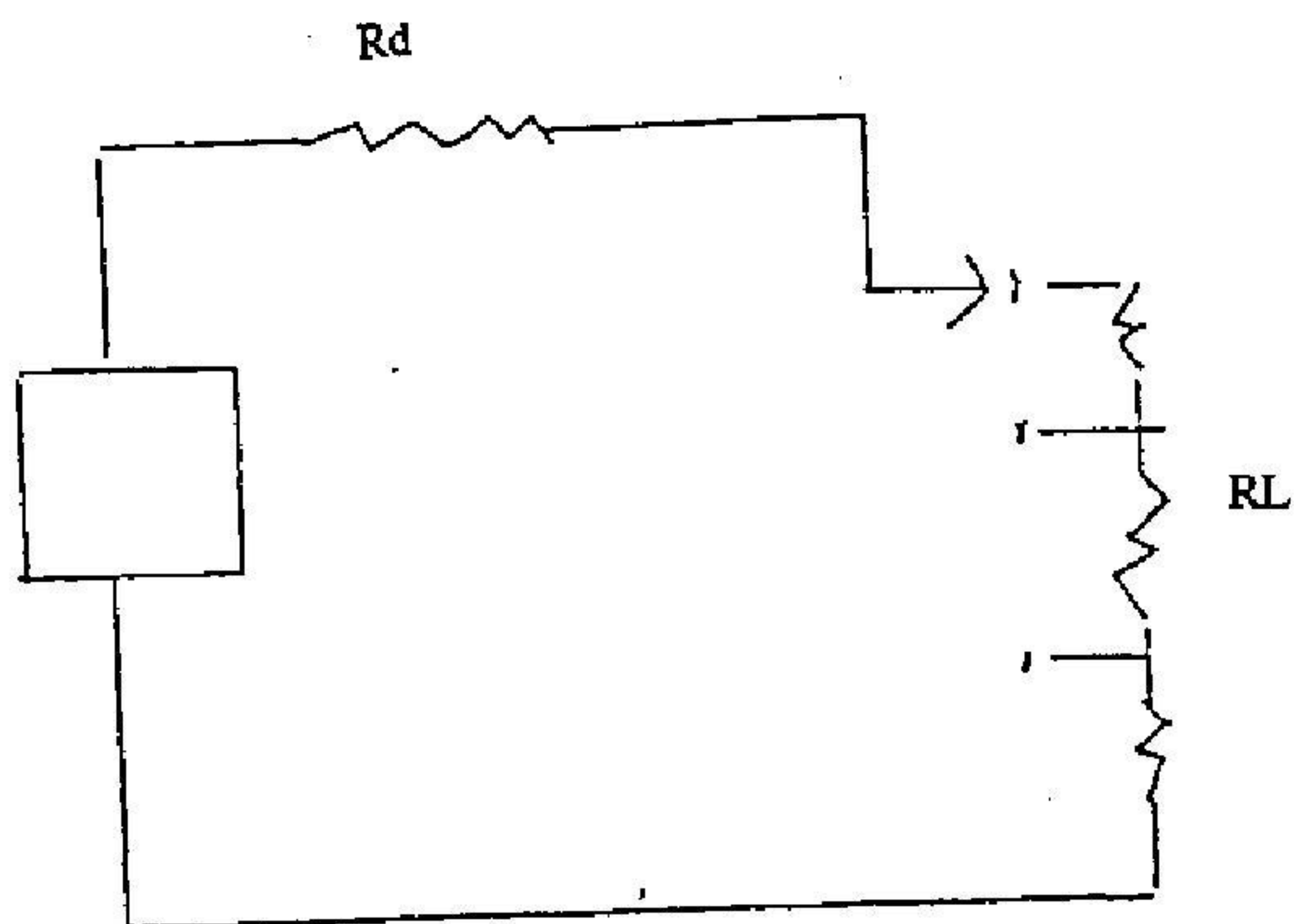
- Temperatur benda uji dan sel/modul referensi.
- Diskripsi dan identifikasi dari sel/modul referensi.
- Data kalibrasi sel/modul referensi (nilai kalibrasi, dimana dan kapan dikalibrasi).
- Penyimpangan-penyimpangan standar prosedur pengujian.
- Hasil pengujian.

Lampiran 1

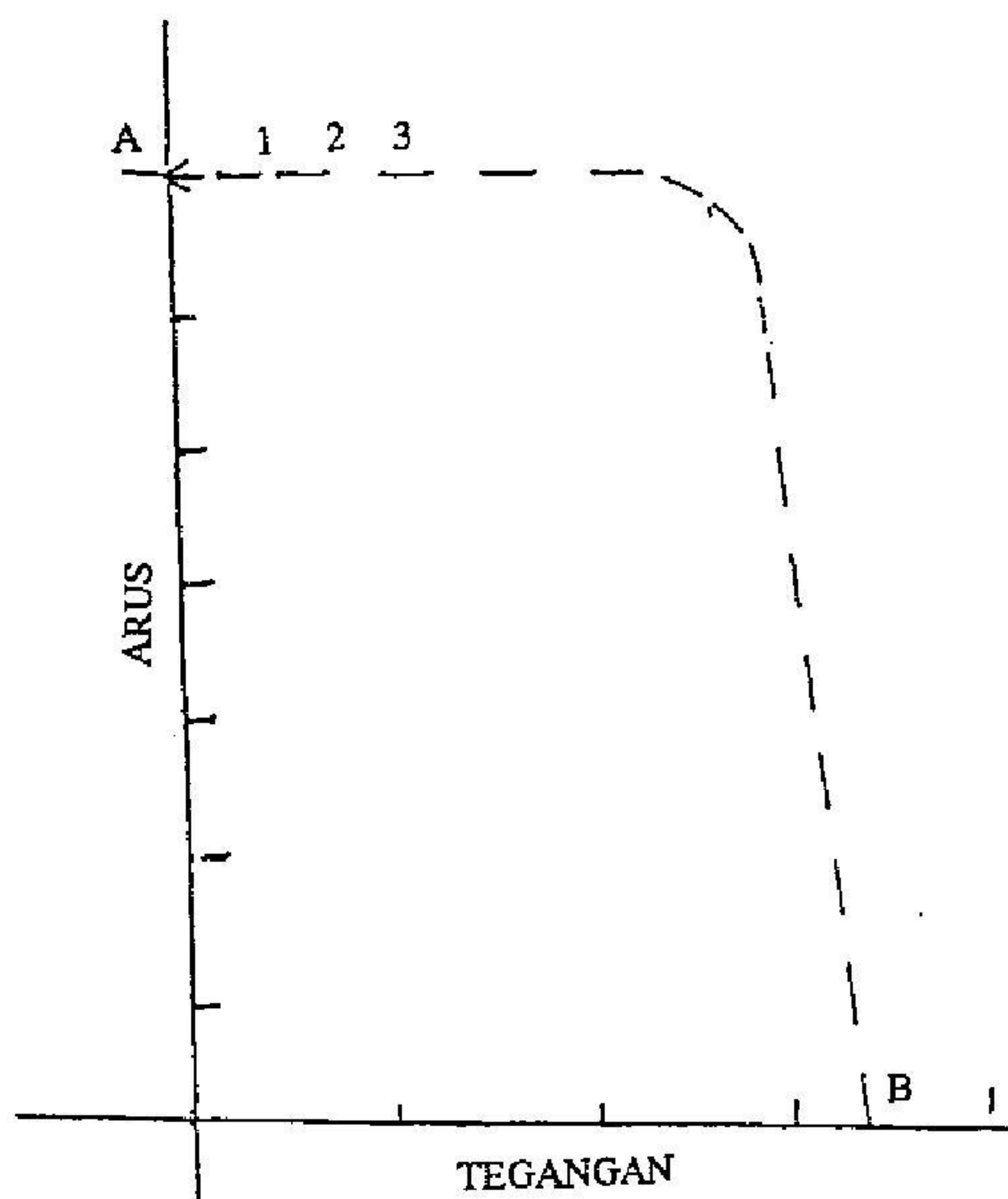


Gambar 1 : Rangkaian Uji

Lampiran 2



Gambar 2a : Rangkaian Pengukuran Tegangan



Gambar 2b : Ekstrapolasi Arus Hubung Singkat

Tabel 1
Referensi Distribusi Irradians Spektral Sinar Surya

Panjang gelombang M.m	Irradians spektral $W.m^{-2}.Mm^{-2}$	Irradians integrasi kumulatif ($W.m^{-2}$)
0,3050	9,5	0,06
0,3100	42,3	0,10
0,3150	107,8	0,57
0,3200	131,0	1,29
0,3250	246,8	2,36
0,3300	395,3	3,97
0,3350	390,1	5,93
0,3400	415,3	7,99
0,3450	436,9	10,18
0,3500	453,7	12,49
0,3600	520,3	17,51
0,3700	666,2	23,44
0,3800	712,5	30,33
0,3900	720,7	37,50
0,4000	1013,1	46,17
0,4100	1158,2	57,02
0,4200	1184,2	68,74
0,4300	1071,9	80,01
0,4400	1302,0	91,88
0,4500	1526,0	106,02
0,4600	1599,6	121,65
0,4700	1581,0	137,55
0,4800	1628,3	153,60
0,4900	1539,2	169,44
0,5000	1548,7	184,88
0,5100	1586,5	200,55
0,5200	1484,9	215,91
0,5300	1572,4	231,20
0,5400	1550,7	246,81
0,5500	1561,5	262,38
0,5700	1501,5	293,01
0,5900	1395,5	321,27
0,6100	1485,3	350,78
0,6300	1434,1	379,98
0,6500	1419,9	408,52
0,6700	1392,3	436,64
0,6900	1130,0	461,86
0,7100	1316,7	486,33
0,7180	1010,3	495,64
0,7244	1043,2	502,21
0,7400	1211,2	519,79
0,7525	1193,9	534,82
0,7575	1175,5	540,75
0,7625	643,1	545,29

Panjang gelombang M.m	Iadians spektral $W.m^{-2}.Mm^{-2}$	Iadians integrasi kumulatif ($W.m^{-2}$)
0,7675	1030,7	549,48
0,7800	1131,1	562,99
0,800	1081,6	585,12
0,8160	849,2	600,56
0,8237	785,0	606,85
0,8315	916,4	613,49
0,8400	939,9	621,46
0,8600	978,9	640,85
0,8800	933,2	659,97
0,9050	748,5	680,99
0,9250	667,5	688,07
0,9300	690,3	694,86
0,9370	403,6	697,60
	758,3	699,91

Tabel 1 (lanjutan)

Panjang gelombang M.m	Iradians spektral $\text{W.m}^{-2}.\text{Mm}^{-2}$	Iradians integrasi kumulatif (W.m^{-2})
0,9480	313,6	703,06
0,9650	526,8	710,20
0,9800	646,4	719,00
0,9935	746,8	773,41
1,0400	690,5	761,82
1,0700	637,5	781,74
1,1000	412,6	797,49
1,1200	108,9	802,71
1,1300	189,1	804,20
1,1370	132,2	805,32
1,1610	339,0	810,98
1,1800	460,0	812,57
1,2000	423,6	827,40
1,2350	480,5	843,22
1,2900	413,1	867,80
1,3200	250,2	877,75
1,3500	32,5	881,99
1,3950	1,6	882,75
1,4425	55,7	884,11
1,4625	105,1	885,72
1,4770	105,5	887,25
1,4970	182,1	890,12
1,5200	262,6	895,24
1,5390	274,2	900,34
1,5580	275,0	905,56
1,5780	244,6	910,75
1,5920	247,4	914,19
1,6100	228,7	918,48
1,6300	244,5	923,21
1,6460	234,8	927,05
1,6780	220,5	934,33
1,7400	171,5	946,48
1,8000	30,7	952,55
1,8600	2,0	953,53
1,9200	1,2	953,63
1,9600	21,2	954,07
1,9850	91,1	955,48
2,0050	26,8	956,66
2,0350	99,5	958,55
2,0650	60,4	960,95
2,1000	89,1	963,57
2,1450	82,2	967,68
2,1980	71,5	971,52
2,2700	70,2	976,62

Panjang gelombang M.m	Iradians spektral $\text{W.m}^{-2}.\text{Mm}^{-2}$	Iradians integrasi kumulatif (W.m^{-2})
2,3600	62,0	982,57
2,4500	21,2	986,32
2,4940	18,5	987,19
2,5370	3,2	987,66
2,9410	4,4	989,19
2,9730	7,6	989,38
3,0050	6,5	989,60
3,0560	3,2	989,85
3,1320	5,4	990,18
3,1560	19,4	990,48
3,2040	1,3	990,98
3,2450	3,2	991,07
3,3170	13,1	991,66
3,3440	3,2	991,86
3,4500	13,3	992,75
3,5730	11,9	994,30
3,7650	9,8	996,38
4,0450	7,5	998,79
		1000,00

Penjumlahan harga didapatkan dengan merata-ratakan teknik integrasi modifikasi Trapesium.



BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : bsn@bsn.go.id